

ТРАНСГРЕСИВНА МІНЛИВІСТЬ МАСИ 1000 ЗЕРЕН ГОЛОВНОГО КОЛОСА ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ У ПОПУЛЯЦІЙ F_{2-4} ЗА ГІБРИДИЗАЦІЇ РІЗНИХ ЕКОТИПІВ

Лозінський М., доктор с.-г. наук, професор,

<https://orcid.org/0000-0002-6078-3209>, e-mail: lozinsk@ukr.net

Філіцька О., доктор філософії з агрономії,

<https://orcid.org/0000-0003-1544-0845>, e-mail: alexx.sin93@gmail.com

Самойлик М., доктор філософії з агрономії,

<https://orcid.org/0000-0001-8576-5368>, e-mail: maiiasamoilyk1983@gmail.com

Юрченко А., канд. с.-г. наук,

<https://orcid.org/0009-0009-5915-2053>, e-mail: yurchenko.anatolii@btsau.edu.ua

Грабовський М., доктор с.-г. наук, професор,

<https://orcid.org/0000-0002-8494-7896>, e-mail: nikgr1977@gmail.com

Федорук Ю., кандидат с.-г. наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0003-3921-7955>, e-mail: fedoruky_4@ukr.net

Панченко Т., кандидат с.-г. наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0003-1114-5670>, e-mail: panchenko.taras@gmail.com

Білоцерківський національний аграрний університет

Анотація

Мета дослідження – встановлення особливостей формування трансгресивних рекомбінантів за масою 1000 зерен головного колоса у гібридних популяціях F_2 - F_4 , отриманих від схрещування сортів пшениці м'якої озимої різних екотипів для добору перспективних селекційних форм.

Матеріали та методи. У 2022–2024 рр. в умовах дослідного поля навчально-виробничого центру Білоцерківського НАУ досліджувалися сорти пшениці м'якої озимої різних екотипів і гібридні популяції, отримані від схрещування таких західноєвропейських і лісостепових екотипів: Варвік / Царівна, Варвік / Либідь, Богемія / Либідь, Вебстер / Царівна; лісостепового екотипу з лісостеповим: Колос Миронівщини / Царівна, Мирлена / Царівна, Мирлена / Либідь; степового та лісостепового екотипів: Дріада 1 / Перлина Лісостепу, Служниця одеська / Царівна, Служниця одеська / Либідь. Біометричний аналіз досліджуваного матеріалу здійснювався за середнім зразком 25 рослин у трикратній повторності. Статистична обробка отриманих даних виконана з використанням програм Microsoft Excel 2019 та Statistica 12.0.

Результати досліджень. У популяції другого покоління позитивні трансгресії за масою 1000 зерен головного колоса виявлено у шести з 10 комбінацій за ступенем трансгресії від 3,9% – Варвік / Царівна до 33,8% – Дріада 1 / Перлина лісостепу і частоти рекомбінантів 8,0-40,0%. Позитивне трансгресивне розщеплення встановлено у всіх досліджуваних популяцій F_3 зі ступенем ($T_c = 3,2$ -34,4 %) і частотою трансгресивних рекомбінантів – $T_c = 20,0$ -56,0 %. У 13 із 14 популяцій F_4 досліджено позитивний ступінь трансгресії від 2,3% – Дріада 1 / Перлина лісостепу *erythrospermum* до 28,2% – Мирлена / Царівна з частотою рекомбінантів 8,0-44,0%.

Висновки. Виділені популяції Варвік / Царівна, Богемія / Либідь, Мирлена / Царівна, Мирлена / Либідь, Дріада 1 / Перлина лісостепу та Служниця одеська / Либідь, у яких протягом трьох років визначено позитивні трансгресії за масою 1000 зерен головного колоса.

Ключові слова: пшениця м'яка озима, маса 1000 зерен, гібридизація, трансгресивна мінливість, кореляційний взаємозв'язок.



Вступ. Пшениця (*T. aestivum* L.) озима є однією з головних продовольчих культур як нашої держави, так і світу загалом [Lozinskiy et al., 2021; Tadesse et al., 2022], що пов'язано як із високою харчовою цінністю, так і з можливістю пристосуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов [Biel et al., 2020]. З огляду на те, що, за оцінками експертів, до 2050 р. населення планети перевищить дев'ять мільярдів осіб, постає необхідність збільшити виробництво світового продовольства на 70% [FAO et al., 2022; Антощенкова, Семперович, 2024] і, зокрема зерна пшениці – майже на 50% [Reynolds, Braun, 2022].

На сучасному етапі Україна посідає одне з провідних місць у світовому виробництві сільськогосподарської продукції, що зумовлює взаємопов'язаний розвиток внутрішнього та світового аграрних ринків [Пикало та ін., 2021], тому виникає необхідність у збільшенні валових зборів і підвищенні якості отриманої продукції [Машенко та ін., 2023].

Зараз Україна входить до десяти країн-лідерів за валовими зборами зерна пшениці м'якої озимої. Однак такі показники досягаються не завдяки високій урожайності, а переважно за рахунок площі посівів цієї культури. До 2022 р. щорічна площа під пшеницею озимою становила 6,1-6,7 млн га, а валовий збір становив 22,0-28,9 млн т. Генетичний потенціал урожайності пшениці озимої в Україні реалізується лише на 35-40%, водночас у провідних аграрних країнах світу перевищує 75-80% [Рожков, 2024]. За умови підвищення середньої урожайності пшениці до рівня провідних європейських країн валовий збір зерна в Україні може сягати 35-40 млн т на рік, що дасть змогу не лише забезпечити внутрішні потреби, а також істотно збільшити експортні обсяги [Черенков та ін., 2014].

Основна роль у вирішенні питання щодо підвищення врожайності зерна пшениці озимої, безперечно, належить удосконаленню сортової політики. Розроблення нових сортів пшениці м'якої озимої з комплексом цінних господарських

ознак і високими показниками їхнього прояву є актуальним завданням, що сприятиме стабілізації ринку екологічно безпечного продовольчого зерна в Україні [Бурденюк-Тарасевич, Лозінський, 2015; Юрченко та ін., 2024].

Незалежно від рівня інтенсифікації виробництва сорт залишається одним із провідних факторів підвищення врожайності та валових зборів [Shamim et al., 2024]. Як найефективніший і економічно обґрунтований елемент системи агротехнічних заходів сортові ресурси забезпечують підвищення продуктивності посівів і поліпшення якості зерна. Підвищення врожайності пшениці озимої натомість супроводжується змінами окремих структурних елементів урожайності, що потребує глибокого вивчення їхньої генетичної зумовленості та взаємозв'язків [Жемела, Кузнецова, 2012].

Одним із визначальних етапів селекційного процесу є раціональний добір вихідного матеріалу, що поєднує комплекс цінних господарських ознак і високий потенціал спадкової мінливості. Залучення до гібридизації різноманітного за екологічним і генетичним походженням вихідного матеріалу розширює генетичну основу селекції, сприяє поєднанню у нових комбінаціях бажаних ознак і властивостей, а також забезпечує прискорення у розробці конкурентоспроможних сортів пшениці м'якої озимої [Raut et al., 2025].

Попри наявність значної кількості традиційних і сучасних методів розширення генетичного різноманіття пшениці м'якої озимої, провідне місце у селекційній практиці й надалі посідає внутрішньовидова гібридизація [Diordiieva et al., 2020; Shcherbakova, 2021]. Генетична мінливість, що формується внаслідок схрещування, є важливим джерелом селекційно цінних рекомбінантів [Sootaher et al., 2020; Рисін та ін., 2024; Мурашко та ін., 2024]. Вивчення закономірностей мінливості господарсько цінних ознак, які визначають рівень продуктивності рослин, дає змогу оптимізувати підбір батьківських пар для схрещування та підвищити ефективність

добору цінних форм у гібридних популяціях [Wocianowski et al., 2023].

Залучення до гібридизації генотипів пшениці м'якої озимої з різних еколого-географічних зон [Базалій та ін., 2023] дає змогу розширити генетичне різноманіття вихідного матеріалу та забезпечує більш цілеспрямований добір батьківських форм за комплексом цінних ознак і властивостей, поєднання яких у нових генотипах прискорить створення конкурентоспроможних і затребуваних на ринку сортів. Правильний добір вихідних компонентів сприяє збільшенню гетерогенності у гібридних популяціях і вдалому проведенню добору рекомбінантів із необхідними показниками та властивостями [Xie et al., 2015].

У процесі створення нових селекційних форм і сортів пшениці одним із компонентів схрещування зазвичай використовуються місцеві генотипи, адаптовані до умов зони досліджень. Іншу батьківську форму підбирають серед сортів різних екотипів, оскільки генетичні системи, що контролюють певні ознаки, можуть відрізнятися залежно від екологічної ніші, забезпечуючи різноманіття гібридних нащадків [Новак та ін., 2025].

Основним завданням селекційних програм є структурний аналіз гібридних популяцій, який передбачає оцінку кількісних ознак (продуктивної кущистості, довжини стебла, міжвузлів і колоса, кількості колосків та зерен, маси зерна), що безпосередньо чи опосередковано впливають на продуктивність рослин. Для ефективного добору необхідно визначити ключові параметри серед великої кількості ознак, враховуючи, що абіотичні, особливо обмежувальні фактори довкілля істотно модифікують кількісні показники, які формують урожайність пшениці [Базалій та ін., 2018].

Установлено, що в нащадків другого покоління гібридних популяцій пшениці м'якої озимої можуть формуватися рослини з трансгресивними розщепленнями за елементами продуктивності [Хахула та ін., 2023; Самойлик, Лозінський, 2023]. У

підвищенні ефективності селекційної роботи і продуктивності відібраних рекомбінантів цінними є виникнення позитивних трансгресивних форм за елементами продуктивності.

Постановка завдань. Питання природи трансгресивної мінливості в селекції залишається дискусійним і не має єдиного генетичного пояснення, а тому вивчення закономірностей формування трансгресивних рекомбінантів за масою 1000 зерен головного колоса є актуальним для підвищення адаптивного та продуктивного потенціалу пшениці озимої.

Мета досліджень – встановлення особливостей формування трансгресивних рекомбінантів за масою 1000 зерен головного колоса у гібридних популяціях F_2 – F_4 , отриманих від схрещування сортів пшениці м'якої озимої різних екотипів для добору перспективних селекційних форм.

Матеріали і методи. Експериментальна частина проведена у 2022–2024 рр. на базі дослідного поля навчально-виробничого центру Білоцерківського національного аграрного університету. Об'єктом досліджень були сорти пшениці м'якої озимої різних екотипів і гібридні популяції, отримані від схрещування таких західноєвропейських і лісостепових екотипів: Варвік / Царівна, Варвік / Либідь, Богемія / Либідь, Вебстер / Царівна; лісостепового з лісостеповим: Колос Миронівщини / Царівна, Мирлена / Царівна, Мирлена / Либідь; степового та лісостепового екотипів Дріада 1 / Перлина Лісостепу, Служниця одеська / Царівна, Служниця одеська / Либідь.

Сівба селекційного матеріалу проводилася наприкінці третьої декади вересня за загальноприйнятою агротехнікою. Попередник – гірчиця на зерно. Біометричний аналіз досліджуваного матеріалу здійснено за середнім зразком 25 рослин у трикратній повторності [Ткачик та ін., 2016]. Статистичну обробку отриманих даних виконували з використанням програм Microsoft Excel 2019 та Statistica 12.0 [Опря та ін., 2014].

Таблиця 1 - Ступінь і частота позитивних трансгресій за масою 1000 зерен головного колоса у популяції F₂ (2022 р.)

Популяція F ₂	Маса 1000 зерен, г					Трансгресії,%	
	середнє		максимальний прояв			Тс	Тч
	♀	♂	F ₂	P	F ₂		
Варвік / Царівна	34,3	33,5	34,7	41,0	42,6	3,9	8,0
Богемія / Либідь	36,7	34,0	43,2	39,5	48,5	22,8	36,0
Мирлена / Царівна	35,7	33,5	42,0	40,9	50,4	23,2	32,0
Мирлена / Либідь	35,7	34,0	41,8	39,8	45,3	13,8	20,0
Дріада 1 / Перлина лісостепу	33,3	35,9	43,2	40,2	53,8	33,8	40,0
Служниця одеська / Либідь	35,7	34,0	36,0	39,8	45,8	15,1	16,0

Ступінь (Тс, %) та частоту (Тч, %) позитивних трансгресій за продуктивною кущистістю визначали за загальноприйнятою методикою [Fonseca, Patterson, 1968].

Результати. Дослідженнями встановлено, що у 2022 р. маса 1000 зерен головного колоса популяції другого покоління змінювалась від 34,7 г у Варвік / Царівна до 43,2 г – Богемія / Либідь та Дріада 1 / Перлина лісостепу за показників у вихідних компонентів гібридизації – 33,3–36,7 г. Позитивне трансгресивне розщеплення встановлено у шести з 10 досліджуваних популяцій F₂. Ступінь трансгресії ознаки відзначено в межах від 3,9% – Варвік / Царівна до 33,8% – Дріада 1 / Перлина лісостепу з частотою позитивних рекомбінантів від 8,0% до 40,0% відповідно. Доцільно виділити популяції Богемія / Либідь (Тс = 22,8%; Тч = 36,0%), Мирлена / Царівна (Тс = 23,2 %; Тч = 32,0 %) та Дріада 1 / Перлина лісостепу (Тс = 33,8 %; Тч = 40,0 %) в яких показники ступеня і частоти позитивних трансгресій були найвищими (табл. 1).

Кореляційний взаємозв'язок між ступенем і частотою позитивних рекомбінан-

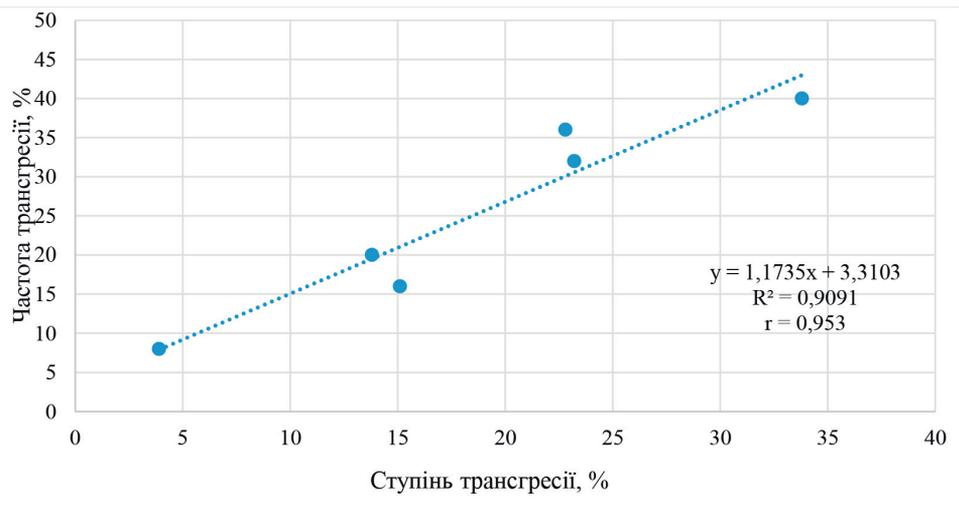


Рисунок 1 – Кореляційний взаємозв'язок між ступенем і частотою позитивних рекомбінантів за масою 1000 зерен головного колоса у F₂

тів за масою 1000 зерен головного колоса у популяції другого покоління визначено як сильний, близький до функціонального – $r = 0,953$ (рис. 1).

У 2023 р. популяції третього покоління формували середню масу 1000 зерен із головного колоса від 41,1 г (Колос Миронівщини / Царівна) до 56,4 г (Богемія / Либідь *lutescens*), за показників батьківських форм від 40,2 г (Богемія) до 53,6 г – Перлина лісостепу. У всіх досліджуваних популяцій F₃ визначено позитивні трансгресії за масою 1000 зерен головного колоса зі ступенем (Тс = 3,2–34,4 %) і частотою трансгресивних рекомбінантів – Тч = 20,0–56,0 %. У популяції Варвік / Царівна *lutescens* (Тс = 23,5 %; Тч = 36,0 %), Варвік / Либідь (Тс = 25,6 %; Тч = 44,0 %), Богемія/Либідь *erythrosperrum* (Тс = 32,9%;

Таблиця 2 – Ступінь і частота позитивних трансгресій за масою 1000 зерен головного колоса у популяції F₃ (2023 р.)

Популяція F ₃	Маса 1000 зерен, г					Трансгресії, %	
	середнє			максимальний прояв		Тс	Тч
	♀	♂	F ₃	P	F ₃		
Варвік / Царівна (lut.)	41,8	41,6	48,8	46,8	57,8	23,5	36,0
Варвік / Царівна (er.)	41,8	41,6	49,6	46,8	52,3	11,8	24,0
Варвік / Либідь	41,8	41,3	51,7	46,1	57,9	25,6	44,0
Богемія / Либідь (lut.)	40,2	41,3	56,4	46,8	62,9	34,4	56,0
Богемія / Либідь (er.)	40,2	41,3	52,6	46,8	62,2	32,9	48,0
Вебстер / Царівна	44,8	41,6	52,8	46,8	59,5	27,1	32,0
Колос Миронівщини / Царівна	45,6	41,6	41,1	46,8	51,7	10,5	20,0
Мирлена / Царівна	48,3	41,6	49,4	53,3	58,9	10,5	16,0
Мирлена / Либідь	48,3	41,3	54,8	53,3	58,5	9,8	20,0
Дріада 1 / Перлина лісостепу (lut.)	40,5	53,6	50,3	55,8	57,6	3,2	12,0
Дріада 1 / Перлина лісостепу (er.)	40,5	53,6	49,7	55,8	61,1	9,5	16,0
Служниця одеська / Царівна	42,7	41,6	47,6	47,1	50,7	7,6	12,0
Служниця одеська / Либідь	42,7	41,3	45,7	47,1	53,3	13,2	16,0

Тч = 48,0 %), Богемія / Либідь *lutescens* (Тс = 34,4 %; Тч = 56,0 %) визначили найвищі показники ступеня і частоти трансгресій (табл. 2).

На рівні сильного, близького до функціонального ($r = 0,957$) у популяції третього покоління дослідили кореляційний взаємозв'язок між ступенем і частотою позитивних рекомбінантів за масою 1000 зерен (рис. 2).

Маса 1000 зерен головного колоса у популяції четвертого покоління змінювалась від 42,5 г (Служниця одеська / Царівна) до 52,9 г (Богемія / Либідь *lutescens*). У батьківських компонентів схрещування показники досліджуваної ознаки склали від 36,3 г у Служниця одеська до 46,0 г – Либідь (табл. 3).

Появою трансгресивних форм характеризувалися 13 із 14 досліджуваних популяцій F₄. Ступінь трансгресії ознаки спостерігався в межах від 2,3 % – Дріада 1 / Перли-

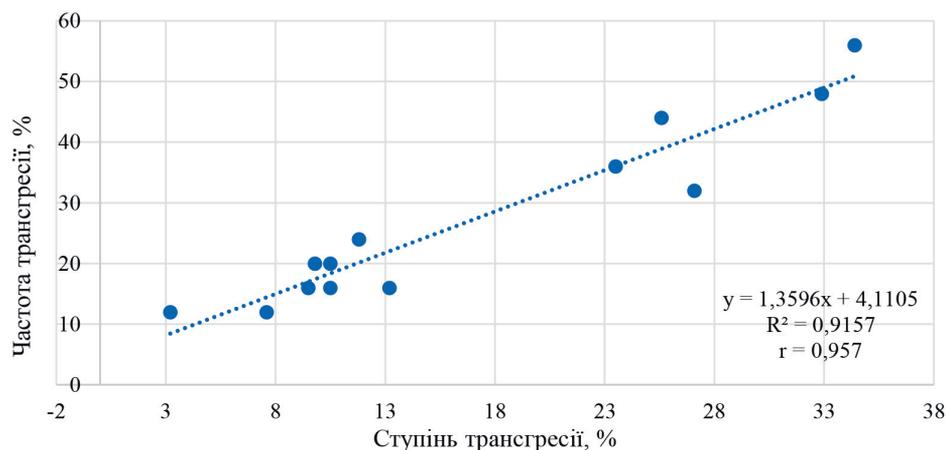


Рисунок 2 – Кореляційний взаємозв'язок між ступенем і частотою позитивних рекомбінантів за масою 1000 зерен головного колоса у F₃

на лісостепу *erythrosperrum* до 28,2 % – Мирлена / Царівна, з частотою позитивних рекомбінантів 8,0–44,0%. Найвищі показники ступеня і частоти позитивних трансгресивних форм спостерігалися у Богемія / Либідь *lutescens* (Тс = 22,5 %; Тч = 44,0 %) і Варвік / Царівна *lutescens* (Тс = 26,9 %; Тч = 32,0 %).

У досліджуваних популяції четвертого покоління за масою 1000 зерен головного колоса встановлено прямий сильний ($r = 0,855$) кореляційний взаємозв'язок між ступенем і частотою рекомбінантів (рис. 3).

Таблиця 3 – Ступінь і частота позитивних трансгресій за масою 1000 зерен головного колоса у популяції F4 (2024 р.)

Популяція F4	Маса 1000 зерен, г					Трансгресії, %	
	середнє			максимальний прояв		Tс	Tч
	♀	♂	F4	P	F4		
Варвік / Царівна (lut.)	38,9	40,3	47,7	43,5	55,2	26,9	32,0
Варвік / Царівна (er.)	38,9	40,3	47,9	43,5	51,6	18,6	28,0
Богемія / Либідь (lut.)	40,1	46,0	52,9	47,9	58,7	22,5	44,0
Богемія / Либідь (er.)	40,1	46,0	47,2	47,9	53,8	12,3	28,0
Вебстер / Царівна	43,4	40,3	43,6	46,0	48,2	4,8	8,0
Колос Миронівщини / Царівна	44,9	40,3	44,9	46,2	52,1	12,8	24,0
Мирлена / Царівна	41,8	40,3	47,8	43,6	55,9	28,2	28,0
Мирлена / Либідь	41,8	46,0	45,2	47,9	53,1	10,9	20,0
Дріада 1 / Перлина лісостепу (lut.)	36,8	44,0	43,6	48,0	53,8	12,1	24,0
Дріада 1 / Перлина лісостепу (er.)	36,8	44,0	44,5	48,0	49,1	2,3	8,0
Дріада 1 / Перлина лісостепу (er. 1)	36,8	44,0	45,0	48,0	49,7	3,5	12,0
Служниця одеська / Царівна	36,3	40,3	42,5	43,5	46,7	7,4	16,0
Служниця одеська / Либідь	36,3	46,0	45,4	47,9	49,2	2,7	12,0

Виділені популяції Варвік / Царівна, Богемія / Либідь, Мирлена / Царівна, Мирлена / Либідь, Дріада 1 / Перлина лісостепу та Служниця одеська / Либідь, у яких протягом трьох років установлені позитивні трансгресії за масою 1000 зерен головного колоса.

Обговорення. Визначена висока ймовірність отримання позитивних трансгресій при використанні еколого-географічного принципу підбору пар для схрещувань. Однак важливою є не лише екологічна віддаленість компонентів схрещування, а різний генетичний контроль ознак у цих зразках, що за рекомбінації призводить до зростання генотипової мінливості [Бакуменко, Власенко, 2016].

Також дослідженнями провідних науковців підтверджено, що частота утворення позитивних трансгресій збільшувалася за оптимальних умов середовища. Трансгресивне розщеплення за масою 1000 зерен відмічено у 20 з 23 гібридних популя-

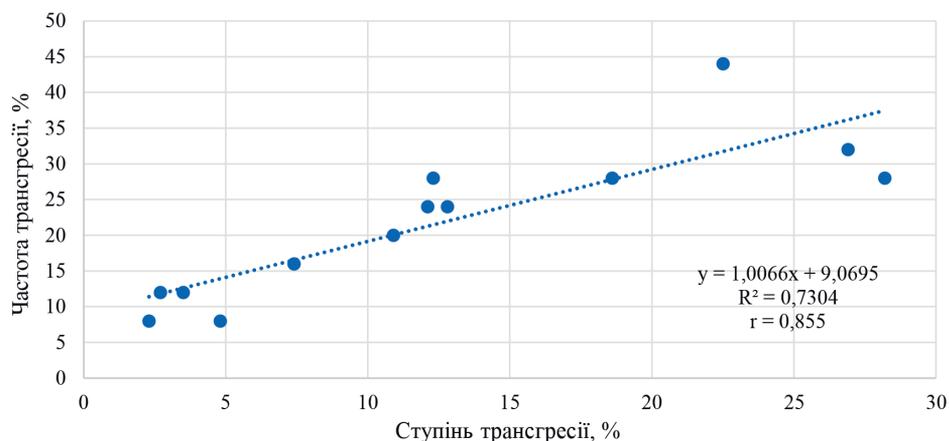


Рисунок 3 – Кореляційний взаємозв'язок між ступенем і частотою позитивних рекомбінантів за масою 1000 зерен головного колоса у F₄

цій F₂ за ступеня позитивної трансгресії від 3,20% (EP 55023 / МІП Ювілейна) до 54,96% (МІП Ювілейна / Подолянка) та частотою рекомбінантів від 13,33% (МІП Ассоль / EP 55023) до 96,67% (EP 55023 / ЛЮТ 55198) [Рисін та ін., 2024].

Крайні максимальні показники маси 1000 зерен рекомбінантів у більшості популяцій F₂ виходили за межі батьківських форм і сягали 56,0-61,7 г, що є дуже високим показником для маси 1000 зерен. Позитивні трансгресії за масою 1000 зерен встановлені у 9 з 10 популяцій F₂ за найвищих показників ступеня у Гайтун /

Олеся (22,9%) і Пекін / Олеся (21,3%) та частоти рекомбінантів 37,5 і 53,3% відповідно. У популяції за схрещування степового еко типу з лісостеповим частота трансгресивних рекомбінантів становила 20,8-28,6% за ступеня трансгресії 3,4-10,7% [Лозінський, 2024].

Отримані результати підтверджують раніше проведені дослідження щодо залучення до гібридизації віддалених еколого-географічних форм із метою підвищення позитивних трансгресій за масою 1000 зерен головного колоса у гібридних популяцій і добору перспективних рекомбінантів для подальшої селекційної роботи.

Висновки. Визначено вплив підібраних вихідних компонентів схрещування на формування маси 1000 зерен головного колоса у популяції F_{2-4} .

Використання в гібридизації сортів пшениці м'якої озимої лісостепового, степового і західноєвропейського еко типів розширює формотворчий процес у гібридних популяціях і сприяє добору позитивних трансгресивних рекомбінантів за масою 1000 зерен головного колоса.

Виділені популяції Варвік / Царівна, Богемія / Либідь, Мирлена / Царівна, Мирлена / Либідь, Дріада 1 / Перлина лісостепу та Служниця одеська / Либідь, у яких протягом трьох років визначені позитивні трансгресії.

Доведена взаємозалежність між ступенем і частотою трансгресій за масою 1000 зерен головного колоса у популяції F_{2-4} свідчить про сильний і дуже сильний, близький до функціонального ($r = 0,855-0,957$) взаємозв'язок між цими показниками.

Перелік літератури

Антощенкова, В. В., & Семперович, І. В. (2024). Основи глобального продовольчого забезпечення. Економіка та суспільство, (59). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-26>

Базалій, В. В., Домарацький, Є. О., & Козлова, О. П. (2023). Селекційно-генетичні аспекти селекції озимої пшениці та

їх вплив на агроекологічну адаптивність. Аграрні інновації, (19), 120–126. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.19>

Базалій, В. В., Домарацький, Є. О., & Ларченко, О. В. (2018). Сучасний сортовий склад пшениці м'якої озимої та параметри його екологічної стійкості за різних умов вирощування (огляд літератури). Таврійський науковий вісник, (104), 9–15.

Бакуменко, О. М., & Власенко, В. А. (2016). Трансгресивна мінливість продуктивності колосу в F_2 пшениці м'якої озимої за участі носіїв пшенично-житніх транслокацій. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія. (9). 140–145.

Бурденюк-Тарасевич, Л. А., & Лозінський, М. В. (2015). Принципи підбору пар для гібридизації в селекції озимої пшениці *T. aestivum* L. на адаптивність до умов довкілля. Фактори експериментальної еволюції організмів. (16). 92–96.

Жемела, Г. П., & Кузнецова, О. А. (2012). Вплив сортових властивостей на продуктивність та якість зерна пшениці м'якої озимої. Вісник Полтавської державної аграрної академії, (3), 23–25. <https://doi.org/10.31210/visnyk2012.03.04>

Лозінський, М. В. (2024). Теоретичні і практичні основи селекції пшениці м'якої озимої на підвищення адаптивного потенціалу для умов Лісостепу України [Дис. докт. с.-г. наук, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, Одеса]. Інституційний репозитарій Білоцерківського національного аграрного університету. <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/13403>

Машенко, Ю. В., Кулик, Г. А., Трикіна, Н. М., & Малаховська, В. О. (2023). Урожайність пшениці озимої у сівозмінах степу залежно від систем удобрення та біопрепарату. Аграрні інновації, (18), 77–83. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.11>

Мурашко, Л. А., Гуменюк, О. В., Кириленко, В. В., Замліла, Н. П., Судденко, Ю. М., & Новицька, Н. В. (2024). Адаптивні властивості та селекційна цінність гібридних комбінацій F_3 пшениці м'якої озимої

за ознаками продуктивності колоса. Наукові доповіді НУБіП, (2/108). [https://doi.org/10.31548/dopovidi.2\(108\).2024.011](https://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.011)

Новак, Ж. М., Крижанівський, В. Г., Ненька, О. В., Синьоок, І. В., & Новак, М. А. (2025). Варіація біометричних показників гібридів пшениці F_2 – F_3 , створених за гібридизації *Triticum aestivum* L. Ч *Triticum sphaerococcum* Pers. Збірник наукових праць Уманського національного університету, 106(1), 115–125. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-106-1-115-125>

Опря, А. Т., Дорогань-Писаренко, Л. О., Єгорова, О. В., & Кононенко, Ж. А. (2014). Статистика: навчальний посібник. Київ: Центр учбової літератури.

Пикало, С. В., Демидов, О. А., Юрченко, Т. В., Прокопів, Н. І., Харченко, М. В., & Рибка, К. М. (2021). Розроблення способів добору *in vitro* генотипів зернових культур на стійкість до несприятливих чинників довкілля. Екологічні науки, 4(37), 90–97. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.13>

Рисін, Г. Б., Демидов, О. А., Вологдіна, Г. Б., Гуменюк, О. В., & Пикало, С. В. (2024). Трансгресивна мінливість у популяціях F_2 , F_3 пшениці м'якої озимої за ознаками продуктивності в умовах Лісостепу України. Аграрні інновації, (24), 206–213. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.30>

Рожков, А. О. (2024). Пшениця озима: онтогенез, сучасні підходи технології вирощування: монографія. Харків: ДБТУ.

Самойлик, М. О., & Лозінський, М. В. (2023). Особливості успадкування в F_1 і трансгресивна мінливість в популяцій F_2 маси зерна з головного колоса за схрещування пшениці м'якої озимої різних екотипів. Аграрні інновації. (22), 154–161. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.24>.

Ткачик, С. О., Лещук, Н. В., & Присяжнюк, О. І. (2016). Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні : загальна частина. 4-те вид. Вінниця: Український інститут експертизи сортів рослин.

Хахула, В. С., Лозінська, Т. П., Горновська, С. В., Михайлюк, Д. В., & Крупа, Н. М. (2023). Успадкування та трансгресивна мінливість кількості зерен у колосі у F_1 – F_2 пшениці м'якої ярої. Агробіологія, (1), 133–141. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-179-1-133-141>

Черенков, А. В., Гасанова, І. І., & Солoduшко, М. М. (2014). Пшениця озима – розвиток та селекція культури в історичному аспекті. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони, (6), 3–6.

Юрченко, Т. В., Пикало, С. В., & Харченко, М. В. (2024). Комбінаційна здатність сортів пшениці м'якої озимої різного еколого-географічного походження за посухостійкістю. Екологічні науки, 3(54), 101–104. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.15>

Biel, W., Kazimierska, K., & Bashutska, U. (2020). Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 19, 19–28. <https://doi.org/10.21005/asp.2020.19.2.03>

Vocianowski, J., Nowosad, K., & Bujak, H. (2023). Meta-analysis of influence of diversity of parental forms on heterosis and specific combining ability of their hybrids. *Applied Sciences*, 13(15), 8704. <https://doi.org/10.3390/app13158704>

Diordiieva, I., Riabovol, I., Riabovol, L., Serzhuk, O., Novak, Z., Chernov, O., & Karychkovska, S. (2020). Triticale breeding improvement by the intraspecific and remote hybridization. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(4), 67–71. https://doi.org/10.15421/2020_169

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2022). The State of Food Security and Nutrition in the World 2022: Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0639en>

Fonseca, S., & Patterson, F. L. (1968). Hybrid vigor in a seven parent diallel cross in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*. 8(1). P. 85–88.

Lozinskiy, M., Burdenyuk-Tarasevych, L., Grabovskyi, M., Lozinska, T., Sabadyn, V., Sidorova, I., Panchenko, T., Fedoruk, Y.,

& Kumanska, Y. (2021). Evaluation of selected soft winter wheat lines for main ear grain weight. *Agronomy Research*, 19(2), 540–551. <https://doi.org/10.15159/ar.21.071>

Raut, R. N., Talekar, N., Ghule, A. L., Pareek, S., Afandi, F., Abhimanyu, G., Shinde, S., & Jadhav, A. A. (2025). Genetic profiling of quality traits for industrial applications and agronomic practices in bred wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 28(4), 420–434. <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i42202>

Reynolds, M. P., & Braun, H.-J. (2022). Wheat improvement: Food security in a changing climate. *CIMMYT*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3>

Shamim, S., Abdullan, M., Shair, H., Ahmad, J., Farooq, M., & Ajmal, S. (2024). Evaluation for impact of climate change on wheat (*Triticum aestivum* L.) grain quality and yield traits. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 5(1), 842. <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2024il.842>

Shcherbakova, Y. U. (2021). Inheritance of economically valuable characteristics in inter various hybrids of wheat in soft winter under forest steppe. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, 55(2), 16–20. <https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-55-2-16-20>

Sootaher, J. K., Abro, T. F., Soomro, Z. A., Soothar, M. K., Baloch, T. A., Menghwar, K. K., & Soomro, T. A. (2020). Assessment of genetic variability and heritability for grain yield and its associated traits in F₂ populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pure and Applied Biology*, 9(1), 36–45. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90005>

Tadesse, W., Zegeye, H., Debele, T., Kassa, D., Shiferaw, W., Solomon, T., Negash, T., Geleta, N., Zewdie, B., & Assefa, S. (2022). Wheat production and breeding in Ethiopia: retrospect and prospects. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 4(3). <https://doi.org/10.20900/cbagg20220003>

Xie, Q., Mayes, S., & Sparkes, D. L. (2015). Spelt as a genetic resource for yield component improvement in bread wheat. *Crop Science*, 55, 2753–2765. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.12.0842>

References

Antoshchenkova, V. V., & Semperovych, I. V. (2024). Fundamentals of global food security. *Economy and Society*, (59). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-26>

Bazalii, V. V., Domaratskyi, Ye. O., & Kozlova, O. P. (2023). Breeding and genetic aspects of winter wheat selection and their influence on agroecological adaptability. *Agrarian Innovations*, (19), 120–126. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.19>

Bazalii, V. V., Domaratskyi, Ye. O., & Larchenko, O. V. (2018). Modern varietal composition of soft winter wheat and parameters of its ecological stability under different growing conditions (literature review). *Taurian Scientific Bulletin*, (104), 9–15.

Biel, W., Kazimierska, K., & Bashutska, U. (2020). Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 19, 19–28. <https://doi.org/10.21005/asp.2020.19.2.03>

Bocianowski, J., Nowosad, K., & Bujak, H. (2023). Meta-analysis of influence of diversity of parental forms on heterosis and specific combining ability of their hybrids. *Applied Sciences*, 13(15), 8704. <https://doi.org/10.3390/app13158704>

Burdeniuk-Tarasevych, L. A., & Lozinskyi, M. V. (2015). Principles of selecting parent pairs for hybridization in breeding of winter wheat *T. aestivum* L. for adaptability to environmental conditions. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, (16), 92–96.

Cherenkov, A. V., Hasanova, I. I., & Solodushko, M. M. (2014). Winter wheat: Development and breeding of the crop in a historical perspective. *Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone*, (6), 3–6.

Diordiieva, I., Riabovol, I., Riabovol, L., Serzhuk, O., Novak, Z., Chernov, O., & Karychkovska, S. (2020). Triticale breeding improvement by the intraspecific and remote hybridization. *Ukrainian Journal of Ecology*, (10(4)), 67–71. https://doi.org/10.15421/2020_169

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2022). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022: Repurposing food*

and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0639en>

Fonseca, S., & Patterson, F. L. (1968). Hybrid vigor in a seven parent diallel cross in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*, 8(1), P. 85–88.

Khakhula, V. S., Lozinska, T. P., Hornovska, S. V., Mykhailiuk, D. V., & Krupa, N. M. (2023). Inheritance and transgressive variability of grain number per spike in F1–F2 of soft spring wheat. *Agrobiologia*, (1), 133–141. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-179-1-133-141>

Lozinskiy, M., Burdenyuk-Tarasevych, L., Grabovskyi, M., Lozinska, T., Sabadyn, V., Sidorova, I., Panchenko, T., Fedoruk, Y., & Kumanska, Y. (2021). Evaluation of selected soft winter wheat lines for main ear grain weight. *Agronomy Research*, 19(2), 540–551. <https://doi.org/10.15159/ar.21.071>

Mashchenko, Yu. V., Kulyk, H. A., Trykina, N. M., & Malakhovska, V. O. (2023). Yield of winter wheat in steppe crop rotations depending on fertilization systems and biological preparations. *Agrarian Innovations*, (18), 77–83. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.11>

Murashko, L. A., Humeniuk, O. V., Kyrilenko, V. V., Zamlila, N. P., Suddenko, Yu. M., & Novytska, N. V. (2024). Adaptive properties and breeding value of F3 hybrid combinations of soft winter wheat by ear productivity traits. *Scientific Reports of NULES of Ukraine*, 2(108). [https://doi.org/10.31548/dopovid.2\(108\).2024.011](https://doi.org/10.31548/dopovid.2(108).2024.011)

Novak, Zh. M., Kryzhanivskyi, V. H., Nenska, O. V., Syniok, I. V., & Novak, M. A. (2025). Variation of biometric traits in F2–F3 wheat hybrids created by hybridization of *Triticum aestivum* L. Ч *Triticum sphaerococcum* Perc. *Collection of Scientific Works of Uman National University*, 106(1), 115–125. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-106-1-115-125>

Opria, A. T., Dorohan-Pysarenko, L. O., Yehorova, O. V., & Kononenko, Zh. A. (2014). *Statistics: A study guide*. Kyiv: Center for Educational Literature.

Pykalo, S. V., Demydov, O. A., Yurchenko, T. V., Prokopik, N. I., Kharchenko, M. V., & Rybka, K. M. (2021). Development of

in vitro selection methods for cereal genotypes resistant to adverse environmental factors. *Ecological Sciences*, 4(37), 90–97. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.13>

Raut, R. N., Talekar, N., Ghule, A. L., Pareek, S., Afandi, F., Abhimanyu, G., Shinde, S., & Jadhav, A. A. (2025). Genetic profiling of quality traits for industrial applications and agronomic practices in bred wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 28(4), 420–434. <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i42202>

Reynolds, M. P., & Braun, H.-J. (2022). *Wheat improvement: Food security in a changing climate*. CIMMYT. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3>

Rozhkov, A. O. (2024). *Winter wheat: Ontogenesis and modern approaches to cultivation technology (Monograph)*. Kharkiv: State Biotechnological University.

Rysin, H. B., Demydov, O. A., Volohdina, H. B., Humeniuk, O. V., & Pykalo, S. V. (2024). Transgressive variability in F2 and F3 populations of soft winter wheat by productivity traits under forest-steppe conditions of Ukraine. *Agrarian Innovations*, (24), 206–213. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.30>

Samoilyk, M. O., & Lozinskiy, M. V. (2023). Features of inheritance in F1 and transgressive variability in F2 populations of grain weight from the main spike in crosses of soft winter wheat of different ecotypes. *Agrarian Innovations*, (22), 154–161. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.24>

Shamim, S., Abdullan, M., Shair, H., Ahmad, J., Farooq, M., & Ajmal, S. (2024). Evaluation for impact of climate change on wheat (*Triticum aestivum* L.) grain quality and yield traits. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 5(1), 842. <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2024il.842>

Shcherbakova, Y. U. (2021). Inheritance of economically valuable characteristics in inter various hybrids of wheat in soft winter under forest steppe. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, 55(2), 16–20. <https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-55-2-16-20>

Sootaher, J. K., Abro, T. F., Soomro, Z. A., Soothar, M. K., Baloch, T. A., Mengh-

war, K. K., & Soomro, T. A. (2020). Assessment of genetic variability and heritability for grain yield and its associated traits in F_2 populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pure and Applied Biology*, 9(1), 36–45. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90005>

Tadesse, W., Zegeye, H., Debele, T., Kassa, D., Shiferaw, W., Solomon, T., Negash, T., Geleta, N., Zewdie, B., & Assefa, S. (2022). Wheat production and breeding in Ethiopia: retrospect and prospects. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 4(3). <https://doi.org/10.20900/cbgg20220003>

Tkachyk, S. O., Leshchuk, N. V., & Prysiachniuk, O. I. (2016). Methodology for conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine: General part (4th ed.). Vinnytsia: Ukrainian Institute for Plant Variety Examination.

Xie, Q., Mayes, S., & Sparkes, D. L. (2015). Spelt as a genetic resource for yield component improvement in bread wheat.

Crop Science, 55, 2753–2765. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.12.0842>

Yurchenko, T. V., Pykalo, S. V., & Kharchenko, M. V. (2024). Combining ability of soft winter wheat varieties of different ecological and geographical origin for drought resistance. *Ecological Sciences*, 3(54), 101–104. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.15>

Zhemela, H. P., & Kuznetsova, O. A. (2012). Influence of varietal properties on productivity and grain quality of soft winter wheat. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (3), 23–25. <https://doi.org/10.31210/visnyk2012.03.04>

*Надійшла до редакції 13.10.2025 р.;
переглянуто 03.11.2025 р.;
прийнято до друку 01.12.2025 р.;
опубліковано 29.12.2025 р.*

*Received October 13, 2025;
revised November 03, 2025;
accepted December 01, 2025;
published December 29, 2025*

UDC 631.524.01/.526.3/.527.5:633.111X«324»

TRANSGRESSIVE VARIABILITY OF 1000-GRAIN WEIGHT OF THE MAIN SPIKE OF SOFT WINTER WHEAT IN F_{2-4} POPULATIONS UNDER HYBRIDIZATION OF DIFFERENT ECOTYPES

Lozinskyi M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-6078-3209>, e-mail: lozinsk@ukr.net

Filitska O., Doctor of Philosophy (PhD) in Agronomy, <https://orcid.org/0000-0003-1544-0845>, e-mail: alexx.sin93@gmail.com

Samoilyk M., Doctor of Philosophy (PhD) in Agronomy, <https://orcid.org/0000-0001-8576-5368>, e-mail: maiiasamoilyk1983@gmail.com

Yurchenko A., Candidate of Agricultural Sciences (PhD equivalent), <https://orcid.org/0009-0009-5915-2053>, e-mail: yurchenko.anatolii@btsau.edu.ua

Hrabovskiy M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-8494-7896>, e-mail: nikgr1977@gmail.com

Fedoruk Yu., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-3921-7955>, e-mail: fedoruky_4@ukr.net

Panchenko T., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-1114-5670>, e-mail: panchenko.taras@gmail.com
Bila Tserkva National Agrarian University

Summary

The aim of the research is to conduct a systematic statistical analysis of the long-term dynamics of

crop biomass formation in Ukraine based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and to establish quantitative patterns of the influence of key meteorological factors on the state of vegetation over twenty years (2001–2020). The relevance of the work is driven by the need to adapt agricultural technologies to global climate change and to develop accurate predictive models of crop productivity based on remote sensing data.

Research Methodology. *The study is based on data from the Global Agriculture Monitoring (GLAM) system, derived from 8-day NDVI composites of MODIS satellites (Terra and Aqua). A retrospective database covering 24 administrative regions of Ukraine was created, containing approximately 23,000 records. Trend analysis using linear regression models was applied to assess long-term tendencies. The complex impact of meteorological conditions was evaluated by calculating correlation coefficients and constructing multiple regression dependencies between NDVI values and indicators of average monthly air temperature, precipitation, and cumulative climatic water balance (CWB).*

Results. *It was established that within the annual cycle, maximum NDVI values (0.61–0.67) are achieved from May to July, with the most intensive biomass growth (42%) occurring in April–May. Long-term analysis revealed a stable positive trend of index growth during the cold period of the year (0.42–0.55% per year), while growth rates are minimal in the summer months. A significant decrease in NDVI was recorded in September–October (by 13.9–15.6% over 20 years), which is explained by the shift in winter crop sowing dates and accelerated crop maturation due to warming. Spatial analysis confirmed profound zonal differentiation: the steppe zone is characterized by the lowest biomass potential (0.47–0.66) and critically high interannual variability (32–50%), which is 4–5 times higher than in Polissya. An inertial character of the temperature regime's influence was identified: the temperature of the current month correlates most significantly with the state of vegetation in the subsequent period (r reaches 0.80 in March–April).*

Conclusions. *Remote monitoring using the NDVI indicator objectively reflects the transformation of Ukraine's agrocenoses under the influence of climate change. It has been proven that comprehensive consideration of the temperature regime and cumulative water balance allows for predicting crop status with high accuracy (multiple correlation coefficient $R = 0.85$). The results obtained provide a scientific basis for optimizing irrigation systems and implementing climate-smart agriculture methods in the most vulnerable southern regions of Ukraine.*

Keywords: *NDVI, remote sensing, crop biomass, MODIS, climatic water balance, correlation analysis, vegetation dynamics, temperature regime, precipitation, crop monitoring.*